

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Zefektivnění výroby poutních válců

Streamlining Production of Pilger Roll

Študent:

Jurdík Peter

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Peter Jurdík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zefektivnění výroby poutních válců
Streamlining Production of Pilger Roll

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Technologie obrábění válců.
3. Současná technologie výroby poutních válců.
4. Návrh nové technologie výroby poutních válců.
5. Zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] DAVIN, J. Paulo. *Machining: Fundamentals and Recent Advances*. London: Springer, 2008. ISBN 978-1-84996-755-6.
[3] KOČMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[4] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

PREHLÁSENIE ŠTUDENTA

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave20.5.2013.....

.....Peter Jurdík.....

Jurdík Peter

Prehlasujem, že

- bol som zoznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, hlavne §35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského a §60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nevýlučne ku svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu použiť (§35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok bakalárskej práce bude v elektronickej forme uložený v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho bakalárskej práce. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade zájmu z jej strany, uzavrem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorení diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave 20.5.2013

..... Peter Jurdík

Meno a priezvisko autora práce:

Peter Jurdík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rozvet 2044/87

Považská Bystrica 01701

ANOTÁCIA BAKALÁRSKEJ PRÁCE

JURDÍK, P. *Zefektivnění výroby poutních válců*. Ostrava, 2013. Bakalárska práca. VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 55s. Vedúci práce Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

Predložená bakalárska práca sa zoberá zefektívnením výroby pútnických valcov. Cieľom je porovnať vybrané VRD, ktoré boli vybrané špecialistami firiem Strojírny Třinec, a.s., a Seco. Tvrdosť materiálu je v rozmedzí 270-330 HB. Prvá časť bakalárskej práce popisuje druhy obrábania, rezné materiály, povlaky a tvrdosti. V druhej časti je popísaný a následne vyhodnotený postup výroby a novo navrhnuté VRD s vyhodnotením experimentu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

JURDÍK, P. *Streamlining Production of Pilger Roll*. Ostrava, 2013. Bachelor thesis. VŠB-TUO, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly. Thesis head Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

Adduced bachelor work deals with effectivity of production pilger rolls. Main aim is compare selected exchangeable cutting inserts. They were choosen by specialists from Strojírny Třinec, a.s., and Seco companies. Brinell of matter is in the range of 270-330 HB. The first part of bachelor work describes the types of machining, cutting materials, coating and hardness. The second part describes and evaluate the production process and the newly designed exchangeable cutting plates with evaluation of experiment.

OBSAH

1	Úvod	- 9 -
1.1	Třinecké železářny, a.s.	- 9 -
1.2	Strojírny Třinec, a.s.	- 10 -
2	Trieskové obrábanie kovov	- 11 -
2.1	Sústruženie	- 12 -
2.2	Kinematika sústruženia	- 12 -
2.3	Druhy sústruženia	- 12 -
2.4	Rozdelenie sústružníckych nožov	- 13 -
3	Frézovanie	- 16 -
3.1	Kinematika obrábacieho procesu	- 16 -
3.2	Nástroje – frézy	- 18 -
4	Rezné materiály	- 19 -
4.1	Rozdelenie rezných materiálov podľa ISO	- 21 -
4.1.1	Nástrojové ocele	- 21 -
4.1.2	Rýchlореzné ocele	- 22 -
4.1.3	Spekané karbidy	- 23 -
5	Trvanlivosť a životnosť nástrojov	- 27 -
6	Popis a postup opracovania pútnických valcov	- 29 -
6.1	Frézovanie valcov	- 29 -
6.2	Definícia tvaru funkčnej časti valca – tvaru drážky valca	- 30 -
6.3	Skenovanie tvaru	- 32 -
6.3.1	Aplikácia MM Rollers	- 33 -
6.3.2	Definícia obrábania – výpočet dráhy	- 33 -
6.4	Spôsob opracovania tvarovej dutiny pútnických valcov	- 35 -
6.5	Jednouúčelová CNC frézka na pútnické válce	- 35 -
6.6	Drsnosti valca	- 37 -
6.7	Čas opracovania valcov	- 39 -

6.8	Charakteristika materiálu valca	- 40 -
7	Použitie pútnických valcov	- 41 -
7.1	Popis postupu výroby bezšvových trubiek	- 41 -
8	Návrh nových nástrojov pre frézovanie kalibru	- 43 -
8.1	Vymeniteľná doštička PRAMET RCMT 20-1373001 - M 9315	- 43 -
8.2	Vymeniteľná doštička SECO RPKT 2006M0T	- 45 -
8.3	Vymeniteľná doštička SAFETY RCMT 2006M0 SNF8.....	- 46 -
9	Vyhodnotenie testu	- 48 -
10	Záver a diskusia výsledkov	- 50 -
11	Použité zdroje	- 52 -
12	Zoznam príloh	- 55 -

Zoznam použitých symbolov a značiek

Značka	Popis	Jednotka
VRD	vymeniteľné rezné doštičky	[-]
HB	tvrdosť podľa Brinella	[-]
v_f	posuvová rýchlosť	$m \cdot min^{-1}$
v_e	rýchlosť rezného pohybu	$m \cdot min^{-1}$
n	otáčky obrobku	min^{-1}
PD	polykryštalický diamant	[-]
SK	spekaný karbid	[-]
RO	rýchlorezná oceľ	[-]
NO	nástrojová oceľ	[-]
RK	rezná keramika	[-]
R_a	drsnosť	μm
PVD	fyzické naparovanie z plynnej fázy	[-]
CVD	chemické naparovanie z plynnej fázy	[-]
MTCVD	stredná teplota naparovania z chemickej fázy	[-]
BMmn	mechanická dielňa malý mannesmann	[-]
HS	high speed – rýchlorezná	[-]
T	trvanlivosť	min
m	exponent	[-]
x	počet možných ostrení nástroja	[-]
q	počet použiteľných ostrí doštičky	[-]
Ti	jednotlivé trvanlivosti	min
BS	sústružňa valcov	[-]
v_c	rezná rýchlosť	$m \cdot min^{-1}$

1 Úvod

Vymeniteľné rezné doštičky sú používané v rôznych typoch nástrojov ako frézy, vrtáky, sústružnícke nože a podobne. Doštičkami sa v súčasnej dobe robia takmer všetky operácie trieskového obrábania. Ich najväčšie výhody sú nízka cena, jednoduchá výmena a vysoká presnosť.

Cieľom každého podniku je dosiahnuť čo najväčší zisk s minimálnymi nákladmi. Snažia sa to doceliť zefektívnením výroby. V prvom rade to znamená dosiahnuť čo najviac úžitku z výrobných možností. Pokiaľ niečo do výroby investujeme, tak z finančného hľadiska potrebujeme dostať späť prostriedky, plus zisk.

Dôležitým parametrom pri frézovaní kalibru valca bol rezný nástroj. Je nutné dosiahnuť čo najväčšiu trvanlivosť za vyhovujúcu cenu. Pri voľbe nákupu týchto nástrojov je opotrebenie jeden z hlavných faktorov. Ďalším dôležitým faktorom pre zefektívnenie výroby je výkonný frézovací stroj. Jednúčelová frézka je vyrobená na zákazku pre najlepšie obrobenie kalibru.

V súčasnej dobe sú VRD povlakované povlakmi PVD, CVD a MTCVD. Aby sa dosiahlo veľkého výsledku je potrebné sa sústrediť na najmenšie detaily. Slúžia veľmi dobre už niekoľko rokov a budú sa stále v niektorých aplikáciách využívať. U značky SECO sa stretávame s pojmom DUROMATIC a u značky PRAMET s pojmom UP!GRADE. Sú to skupiny s najnovšími a najlepšími povlakmi VRD.

1.1 Třinecké železářny, a.s.

Třinecké železářny, a.s. vyrábajú najviac ocele v Českej republike. Spoločne s Moravia Steel a desiatkami dcérskymi spoločnosťami sa radia k významným priemyslovým zoskupeniam v strednej Európe. Tradície výroby siaha až do roku 1839. Dnešným dňom sa produkty zo železiarní vyvážajú do viac ako 60 krajín celého sveta. [2]

Hlavné produkty výroby :

- koľajnice a príslušenstvo,
- valcovaný drôt,
- valcované tyče,
- liate a valcované polotovary,

- bezšvové trubky,
- ťahaná oceľ.

Tab. 1.1 História firmy [3]

Rok	Rozvoj
1885	Vznik mechanických dielní ako údržby TŽ, a.s.
1991	Vznik Divízie D3 – Strojársená výroba
1997	Vznik Třineckých železiarní – strojársená výroba, a.s., ako dcérska spoločnosť TŽ, a.s.
2005	Zmená názvu firmy na Strojírny Třinec, a.s.

1.2 Strojírny Třinec, a.s.

Strojírny Třinec, a.s., je firma s dlhoročnou tradíciou výroby širokého spektra strojársenských výrobkov ako sú technologické celky, oceľové konštrukcie, zariadenia pre hutnícke prevádzky, strojné súčasti, náhradné diely, hutnícke valce a upevňovacie prvky železničného zvršku (podkladnice, spojky, svorky, banské koľaje). Súčasťou firmy je aj samostatný útvar Konštrukcia. [3]

Základ spoločnosti tvoria tri výrobné prevádzky:

- mechanické dielne,
- sústružňa valcov,
- drobné koľajivo.













Firma disponuje širokou paletou výrobných možností, modernými obrábacími strojmi, vybavením konštrukčných dielní, modernou zvaracou technikou a oprávnením k zváraniu najnáročnejších konštrukcií. [3]

2 Trieskové obrábanie kovov

Pri obrábaní sa menia rozmery, tvar a povrch strojových súčiastok oddelovaním materiálu z polotovaru. Požadovaný tvar sa vytvára tým, že ostrie nástroja vniká do obrobku v rovine rezu a oddeľuje materiál vo forme triesky. Je sprevádzané tak, že do stroja dodávame energiu. Pri frézovaní a sústružení vykonáva pohyb obrobok aj nástroj. [9]

Tvorenie triesky: Trieska vzniká v oblasti rezania, kde klin deformuje a oddeľuje obrábaný materiál od obrobku vo forme triesky – zóna rezania.

Na obr. 2.1 sú obrázky triesok získaných pri sústružení uhlíkovej ocele pri stúpajúcej reznej rýchlosti. Použitá bola rezná platnička (PRAMET) s predlisovaným žliabkovým tvarovačom triesok. [18]

V_c m.min ⁻¹	Tvar triesky	V_c m.min ⁻¹	Tvar triesky
3		120	
10		150	
20		200	
45		240	
70		300	
95		500	

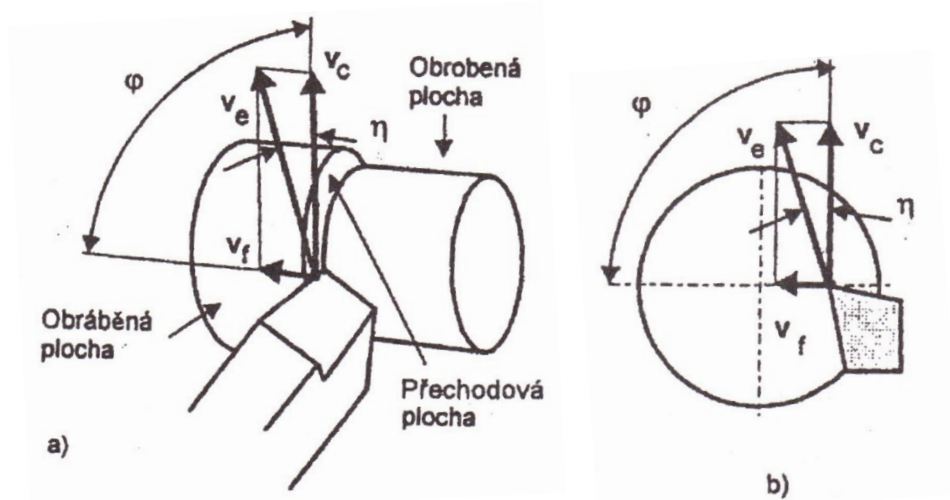
Obr. 2.1 Závislosť vonkajšieho tvaru triesok na reznej rýchlosti [18]

2.1 Sústruženie

Sústruženie je najrozšírenejšia technologická operácia, ktorá z celkového strojového obrábania predstavuje okolo 30 – 40 %. Je možné obrábanie vonkajších a vnútorných povrchov, pri ktorom obrobok vykoná hlavný rotačný pohyb a nástroj koná pohyb do záberu a to rovnobežne s osou otáčania obrobku alebo kolmo k tejto ose alebo v inom smere. Môžeme vŕtať, vyhrubovať, vystružovať a rezať závity. [7]

2.2 Kinematika sústruženia

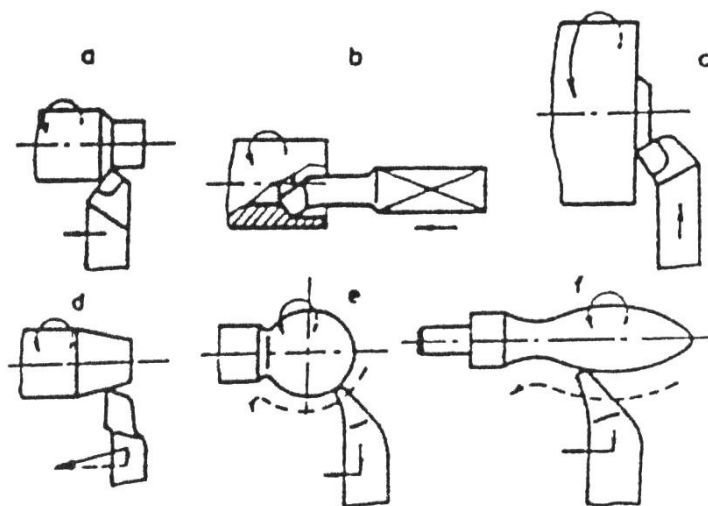
Pri sústružení valcovej plochy za konštantných otáčok obrobku n a konštantnej posuvovej rýchlosti v_f bude rezná rýchlosť v_c a rýchlosť rezného pohybu v_e taktiež konštantná. Pri sústružení čelnej plochy za konštantných otáčok obrobku n a konštantnej posuvovej rýchlosti v_f sa bude rezná rýchlosť v_c a rýchlosť rezného pohybu v_e meniť v závislosti na aktuálnom priemere obrábanej plochy. [7]



Obr. 2.2 Vektory pohybu pri sústružení : a) - pozdĺžné sústruženie valcovej plochy,
b) - priečne sústruženie čelnej plochy [7]

2.3 Druhy sústruženia

Pohyb, ktorý vykonáva upnutý obrobok v stroji a je otáčavý sa nazýva hlavný. Posuv na stroji vykonáva nástroj a udáva sa v milimetroch. Základné druhy sústruženia určuje spôsob posuvu.



Obr. 2.3 Základné druhy sústruženia [6]

Pozdĺžny posuv valcových plôch vonkajší obr. 2.3a alebo vnútorný obr. 2.3b – pozdĺžne sústruženie. Priečny posuv obr. 2.3c, nástroj kolmo na os obrobku – čelné sústruženie. Keď skombinujeme priečny a pozdĺžny posuv dostávame kužeľové sústruženie obr. 2.3d, guľové obr. 2.3e alebo iné plochy obr. 2.3f – tvarové sústruženie. [6]

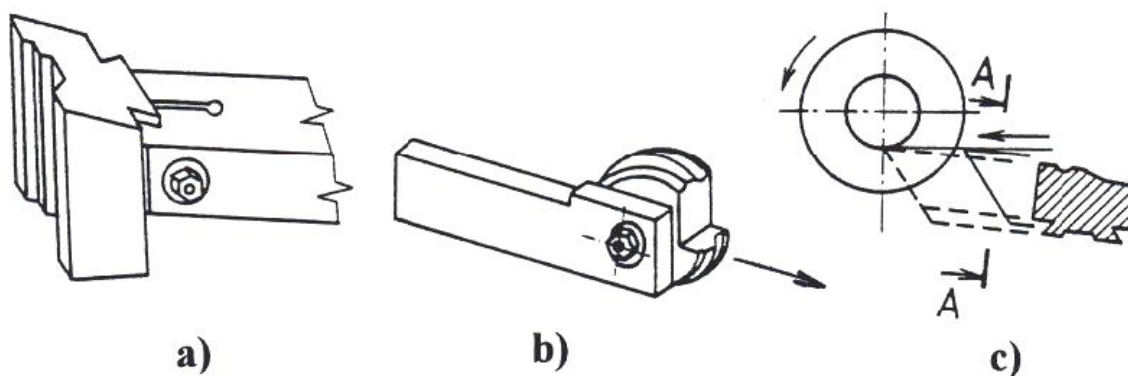
2.4 Rozdelenie sústružníckych nožov

Najpoužívanějšími nástrojmi pre obrábanie sú sústružnícke nože. Ide o nástroje jednoduchých tvarov, ktoré sú pomerne lacné a jednoduché z hľadiska údržby. Základnými charakteristikami sústružníckych nástrojov sú:

- tvar rezného klinu,
- materiál reznej časti,
- prierez telesa nástroja. [5]

Z technologického hľadiska sa sústružnícke nože ďalej delia na:

- radiálne (najfrekvencovanejšia skupina nástrojov),
- prizmatické,
- kotúčové,
- tangenciálne. [5]

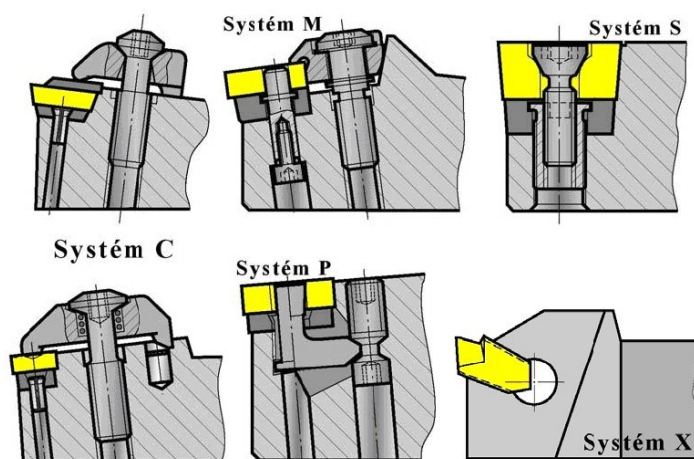


Obr. 2.4 Tvarové sústružnícke nože a)prizmatické, b)kotúčové, c)tangenciálne [5]

Radiálne sústružnícke nože sa delia podľa konštrukcie na:

- celistvé – teleso a rezná časť sú vyrobené z nástrojovej alebo rýchloreznej ocele a tvoria jeden celok
- s letovanými reznými doštičkami – doštička z rezného materiálu je naletovaná tvrdou pájkou na teleso noža z konštrukčnej ocele,
- s vymeniteľnými reznými doštičkami (VRD) – rezná doštička je mechanicky pripnutá v nožovom držiaku z konštrukčnej ocele. [5]

Mechanické upínanie do nožového držiaku je podstatou sústružníckych nožov s vymeniteľnými reznými doštičkami. Existuje množstvo upínaní systémov, ktorých cieľom je, aby sa pevnosť upínacieho spojenia priblížila pevnosti, ktorá je dosiahnutá u pájkovaných rezných doštičiek (obr.2.5). [5]



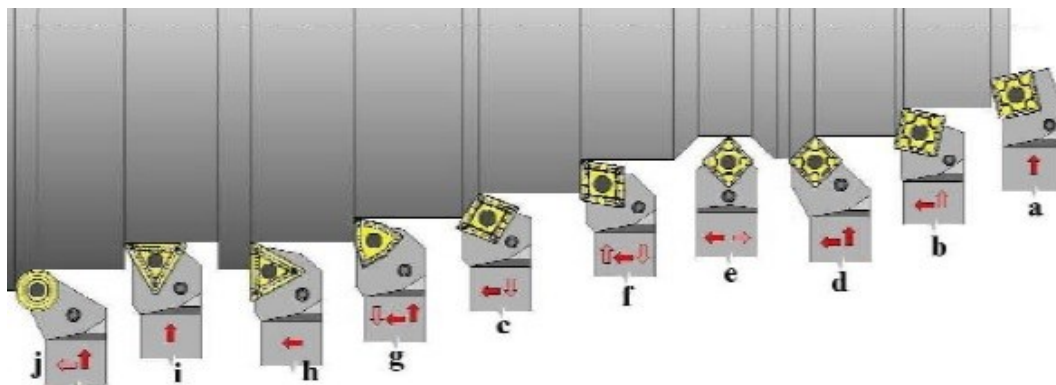
Obr. 2.5 Systém upínania vymeniteľných rezných doštičiek [5]

Ďalšie delenie radiálnych sústružníckych nožov:

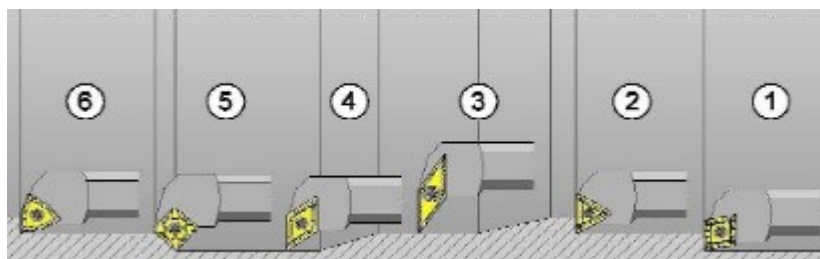
- podľa smeru posuvu pri obrábaní na pravé a ľavé,
- podľa spôsobu obrábania pre plochy vonkajšie (obr.2.6) a vnútorné (obr.2.7),
- podľa tvaru telesa noža na priame, ohnuté, stranové a rohové.

Každá z týchto skupín sa ďalej člení na nože:

- uberacie,
- zapichovacie,
- upichovacie,
- kopírovacie,
- závitové,
- tvarové.



Obr. 2.6 Vonkajšie sústružnícke nože, a – uberací nôž čelný, b – uberací nôž priamy, c – uberací nôž priamy, d – uberací nôž ohnutý, e – uberací nôž obojstranný, f – rohový nôž, h – uberací nôž stranový, i – hladiaci nôž, j – rádiusový nôž [5]



Obr. 2.7 Vnútorné sústružnícke nože, 1 – vnútorný uberací, 2 – vnútorný rohový, 3 – vnútorný kopírovací, 4 – vnútorný uberací, 5 – vnútorný uberací, 6 – vnútorný rohový

[5]

3 Frézovanie

Frézovanie je obrábacia metóda, pri ktorej sa materiál obrobku odoberá ostrým otáčacím nástrojom. Posuv najčastejšie koná súčasť, prevažne v smere kolmom k ose nástroja. U moderných frézovacích strojov sú posuvné pohyby plynule meniteľné a môžu sa realizovať vo všetkých smeroch (obrábacie centrá, viacosové CNC frézky). Rezný proces je prerušovaný, každý zub frézy sa odrezáva krátke triesky rôznej hrúbky. [7]

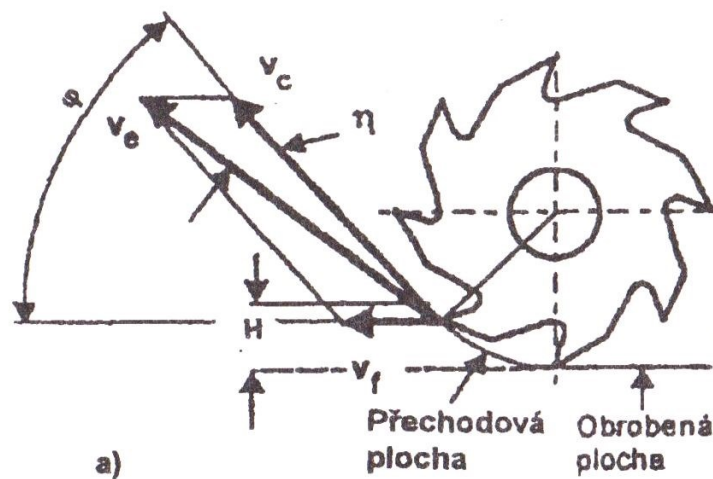
Podľa spôsobu záberu zubov rozdeľujeme frézovanie na:

- valcové frézovanie (obvodom valcovej, prípadne tvarovej frézy),
- čelné frézovanie,
- okružné frézovanie,
- planétové frézovanie. [6]

3.1 Kinematika obrábacieho procesu

Protibežné frézovanie:

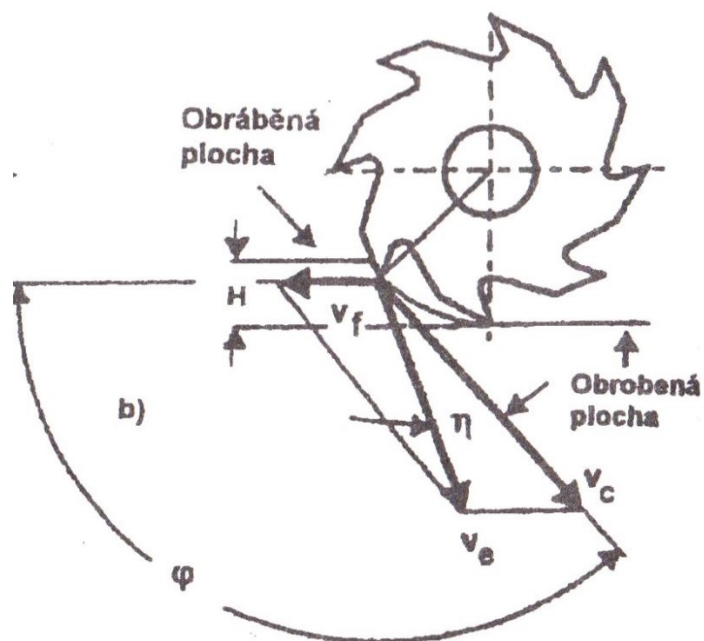
- pri protibežnom frézovaní sa fréza otáča proti smeru pohybu obrobku,
- prierez odoberanej vrstvy narastá postupne z nulovej hodnoty na maximálnu hodnotu,
- odrezanie triesky nastáva až po určitom sklze reznej hrany po ploche vytvorenej predchádzajúcim záberom zuba, čo je sprevádzané zväčšenými silovými účinkami, a deformáciou, čo spôsobuje zvýšené opotrebenie reznej hrany,
- rezná sila pri protibežnom frézovaní má zložku, ktorá smeruje nahor a odťahuje obrobok od stola. [9]



Obr. 3.1 protibežné frézovanie [7]

Súbežné frézovanie:

- pri súbežnom frézovaní sa fréza otáča v smere posuvu obrobku,
- prierez odoberanej vrstvy okamžite narastá na maximálnu hodnotu a potom postupne klesá na nulovú hodnotu,
- obrobená plocha sa vytvára vtedy, keď zub frézy vychádza zo záberu,
- rezné sily pôsobia smerom nadol, pritláčajú obrobok na nastavovaciu plochu stola. [9]



Obr. 3.2 Súbežné frézovanie [7]

Rozdiely medzi protibežným a súbežným frézovaním:

Protibežné :

- trvanlivosť nástroja nezávisí na pieskovom povrchu a pod.,
- nie je potrebné vymedzovanie vôle medzi posuvným šróbom a maticou stola stroja,
- menšie opotrebenie šróbu a matice,
- záber zubov frézy pri jej zarezávaní nezávisí na hĺbke rezu.

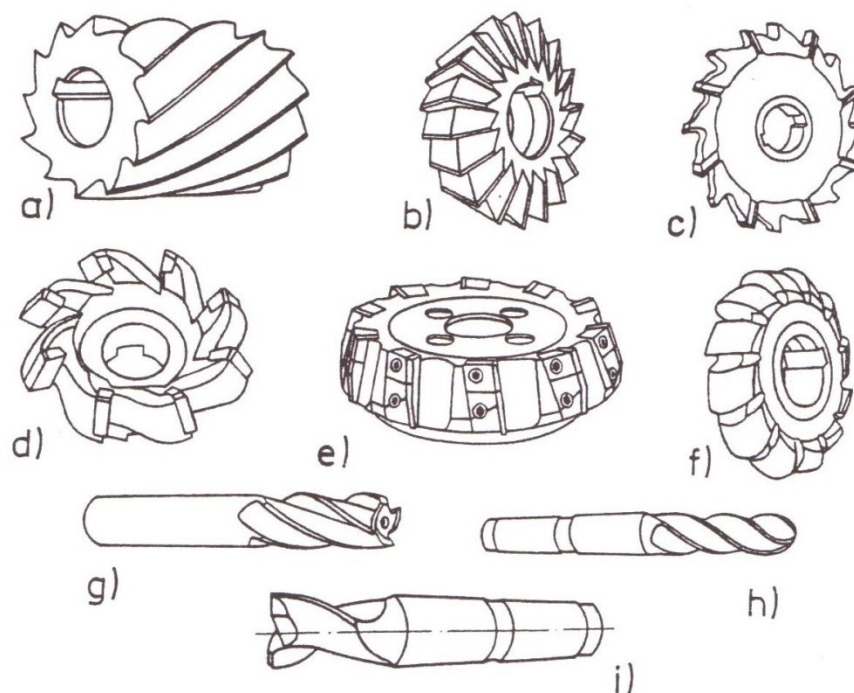
Súbežné:

- vyššia trvanlivosť ostria, čo umožňuje použitie vyšších rezných rýchlostí a posuvov,
- menší potrebný rezný výkon,
- rezná sila pritlačuje obrobok ku stolu, takže sa dajú použiť jednoduchšie upínacie prípravky,
- menší sklon ku chveniu,
- obvykle menší sklon ku tvoreniu nárastkov,
- menšia drsnosť obrobeného povrchu. [7]

3.2 Nástroje – frézy

Frézy sú nástroje, ktoré sa používajú pri frézovaní, sú viacklinové s presne definovanou geometriou. Vzhľadom k veľkému rozsahu technológie sa používa veľmi veľa druhov fréz, z ktorých je väčšina normalizovaná. Frézy rozdeľujeme z viacerých kritérií podľa:

- plôch, na ktorých ležia rezné hrany – valcové, kužeľové, čelné a tvarové,
- spôsobu výroby zubov fréz – s frézovanými zubmi, podsústruženými zubmi,
- počtu zubov k priemeru frézy – jemnozubé, polohrubozubé, hrubozubé,
- priebehu reznej hrany – s priamymi reznými hranami, s reznými hranami v skrutkovici, so striedavým sklonom rezných hrán,
- spôsobu upínania na stroji – stopkové, nástrčné,
- zmyslu otáčania pri pohľade od vretenníka – pravorezné, ľavorezné,
- počtu dielov, z ktorých fréza pozostáva – celistvé, s VRD, delené. [6]



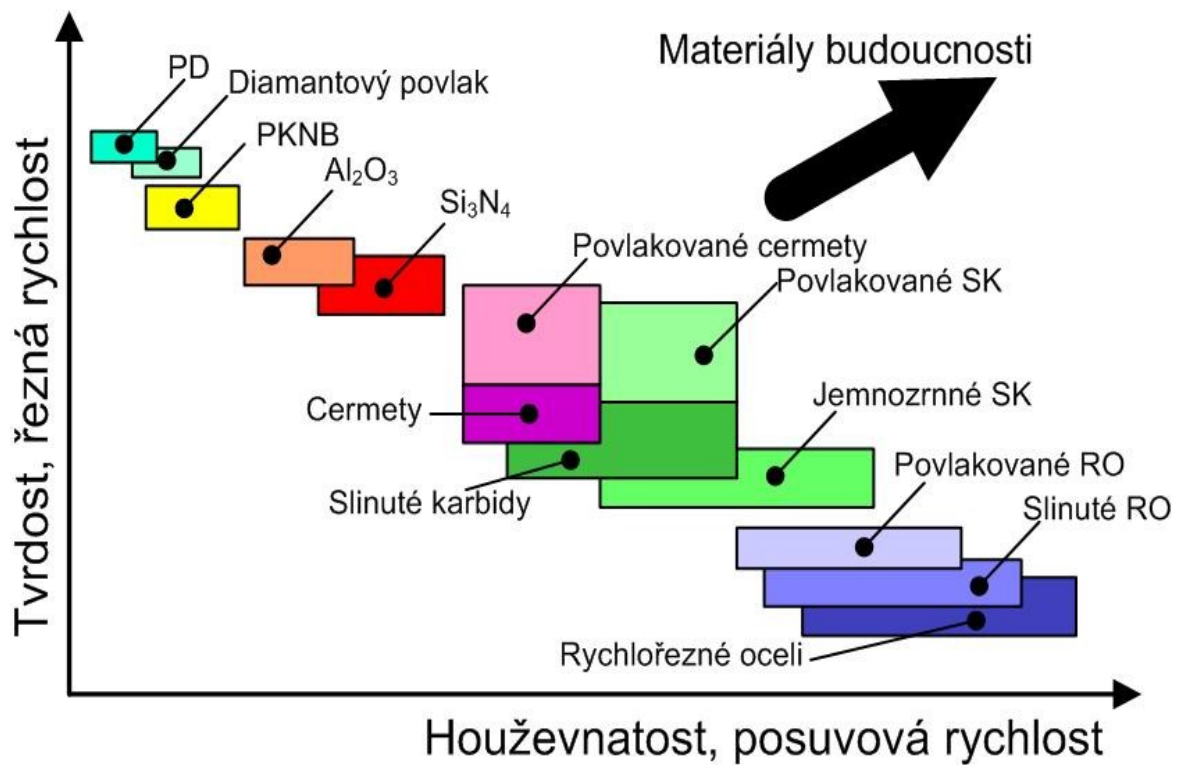
Obr. 3.3 Základné typy fréz, a – valcová fréza, b – uhlová fréza, c – kotúčová fréza, d – čelná fréza, e – frézovacia hlava, f – tvarová fréza, g – stopková čelná fréza, h – kopírovacia fréza, i – drážkovacia fréza [6]

4 Rezné materiály

Rezné materiály rozhodujúcim spôsobom ovplyvňujú produktivitu, výrobné náklady a kvalitu výroby. Ich význam je charakterizovaný náročnými požiadavkami, v ktorých ostrie nástroja pracuje. Pri obrábaní bývajú vystavené intenzívnemu mechanickému a tepelnému namáhaniu. To vedie k otupovaniu ostria, prípadne aj k celkovej deštrukcii. Rezný materiál musí mať preto väčšiu tvrdosť ako materiál obrábaný, aby mohol rezný klin vniknúť do obrábaného materiálu a odrezávať triesku. [4]

Najdôležitejšími vlastnosťami rezných materiálov sú:

- dostatočná tvrdosť (odolnosť oproti opotrebovaniu a plastickej deformácii ostria),
- vysoká húževnatosť (ochrana oproti lomu),
- chemicky neutrálne chovanie oproti materiálu obrobku,
- chemická stabilita,
- dobrá odolnosť oproti zaťaženiu tepelným šokom. [4]



Obr. 4.1. Najpoužívanéjšie materiály pre rezné nástroje [11]

Pre nástroje s definovanou geometriou ostria sa spravidla používa nasledujúce rozdelenie materiálov obrábacích nástrojov:

- kovové nástroje,
- nástrojové ocele (NO),
- spekané tvrdokovy,
- spekané karbidy (SK),
- cermety,
- keramické materiály,
- rezná keramika (RK),
- syntetické veľmi tvrdé materiály. [4]



Obr. 4.2 Prehľad výkonných rezných materiálov [4]

4.1 Rozdelenie rezných materiálov podľa ISO

Podľa normy ISO 513 : 2002 sa obrábacie materiály delia do šiestich hlavných aplikačných skupín a každá sa ďalej delí na aplikačné skupiny. Hlavné aplikačné skupiny sa delia podľa materiálu, ktorý sa nimi obrába. Identifikačnými znakmi sú písmená a farba. Každá aplikačná skupina je určená písmenom hlavnej skupiny a klasifikačným číslom. Výrobcom rezných materiálov bolo udelené poradie v skupinách podľa relatívneho opotrebenia a pevnosti. Čím je číslo nižšie, tým je možné obrábať vyššou rýchlosťou. Čím je číslo vyššie, tým rastú rýchlosti posuvu a pevnosť rezných materiálov. [4]

4.1.1 Nástrojové ocele

Nástrojové ocele sú materiály vysokej kvality, vyrábané elektrickým, oblúkovým, alebo indukčným tavením. Podľa chemického zloženia a účelu použitia bežne delia na:

- uhlíkové ocele,
- zliatinové ocele,
- rýchlořezné ocele. [10]

Z nástrojových ocelí sa vyrába veľké množstvo rôznych druhov nástrojov, ako napr. nástroje na obrábanie, strihanie, tvárnenie, formy pre plasty, alebo tlakové liatie kovov, meradlá, ručné náradie a ďalšie. Základnými požiadavkami na nástrojové ocele sú:

- tvrdosť a pevnosť,
- húževnatosť,
- odolnosť proti popúšťaniu,
- rezivosť a odolnosť proti opotrebeniu,
- prekalitenosť,
- stálosť rozmeru. [10]

4.1.2 Rýchlorezné ocele

Rýchlorezné ocele tvoria samostatnú skupinu vysokolegovaných nástrojových ocelí. Sú to zliatiny železa s mnohými ďalšími legujúcimi prvkami. Vhodne voleným obsahom príslušných prvkov sa dosahujú rôzne špecifické vlastnosti jednotlivých rýchlorezných ocelí. Rýchlorezné ocele sa používajú najmä v prípadoch, keď je potrebná vysoká húževnatosť.

Rýchlorezné ocele nadobúdajú požadované vlastnosti po tepelnom spracovaní – kalení z vysokých kaliacich teplôt a viacnásobnom popúšťaní.

Pri konkrétnej voľbe najvhodnejšieho typu rýchloreznej ocele treba prihliadať v praxi na:

- druh a typ nástroja,
- zariadenia na tepelné spracovanie, ktoré máme k dispozícii,
- obrábateľnosť materiálu obrobku,
- charakter operácie obrábania,
- obrábateľnosť zvolenej rýchloreznej ocele,
- dostupnosť zvoleného typu rýchloreznej ocele. [8]

Vývoj rýchlorezných ocelí sa sústreďuje predovšetkým do oblastí chemického zloženia rýchlorezných ocelí vyrábaných klasickou technológiou, nových technológií výroby (najmä metódy práškovej metalurgie) a nanášania oteruvzdorných povlakov. Pre rýchlorezné ocele platí európska norma EURONORM EN 96-79, ktorá sa postupne uplatňuje v národných podmienkach. Rýchlorezné ocele sú tu označované značkou HS

(high speed). Za touto značkou nasleduje číselné označenie udávajúce obsah legujúcich prvkov (2-9-1-8 je v poradí volfram – molybdén – vanád – kobalt a pod.). [8]

4.1.3 Spekané karbidy

Spekané karbidy sú v súčasnej dobe najrozšírenejším rezným materiálom. Rozdielnosť špecifických vlastností jednotlivých typov spekaných karbidov bolo nutné nejakým spôsobom popísať a označiť so všeobecnou platnosťou. Preto bol pre nich vyvinutý kvalifikačný systém ISO.

Rozdelenie aplikačných skupín podľa ISO 513 : 2002:

Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30	
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30	
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30	

Obr. 4.3 – Rozdelenie spekaných karbidov

Skupina P (modrá farba označenia) WC + TiC + Co; je určená pre obrábanie materiálov tvoriacich dlhú triesku, ako uhlíkové ocele, zliatinové ocele a feritické nehrdzavejúce ocele. Rezný proces je sprevádzaný veľkými reznými silami a značným opotrebovaním na čele nástroja. Prísada TiC zaručuje vysokú odolnosť voči difúzii za vysokých teplôt a je jednou z hlavných príčin výmoľov na čele nástroja.

Skupina M (žltá farba označenia) WC + TiC + TaC. NbC + Co; má univerzálne použitie a je určená pre obrábanie materiálov, ktoré tvoria strednú a dlhšiu triesku ako sú liatinové ocele, nehrdzavejúce austenitické a austeniticko – feritické ocele a tvárne liatiny. Pre svoju relatívne vysokú húževnatosť sa SK tejto skupiny používajú pre ťažké hrubovacie práce a pre prerušované rezy. Sily rezania dosahujú stredných až vysokých hodnôt.

Skupina K (červená farba označenia) WC + Co; je určená pre obrábanie materiálu, ktoré vytvárajú krátku drobivú triesku, hlavne liatiny, temperovaná liatina a liatina s globulárnym grafitom. Sily rezania sú obvykle relatívne nízke a prevláda abrazívne a adhezívne opotrebenie. Sk tejto skupiny nie sú vhodné pre materiály tvoriace dlhú triesku, ktorá zaťažuje tepelné čelo nástroja.

Skupina N (zelená farba označenia); je určená k obrábaniu materiálov z neželezných kovov, hlavne hliníku a ďalších neželezných kovov, ich zliatin a nekovových materiálov.

Skupina S (hnedá farba označenia); používa sa na obrábanie tepelne odolných zliatin na báze železa, niklu a kobaltu, titanu a titánových ťažko obrábateľných zliatin.

Skupina H (šedá farba označenia); je vhodná na obrábanie kalených a vysoko tvrdých ocelí, tvrdených a kalených zliatin. Ďalším veľmi dôležitým kritériom odolnosti materiálu oproti opotrebeniu je jeho tepelná odolnosť. [4]

Metódy povlakovania:

Povlakované spekané karbidy sú vyrábané tak, že na podklad z bežného spekaného karbidu typu K, P alebo M sa naniesie tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdosťou a vynikajúcou odolnosťou proti opotrebeniu. Tieto výhodné vlastnosti vyplývajú hlavne z toho, že povlakovaný materiál neobsahuje žiadne pojivo, má o jeden a viac stupňov jemnejšiu zrnitosť a menej štruktúrovaných defektov a tvoria bariéru oproti difúznemu mechanizmu opotrebenia nástroja. Vlastnosti povrchovej vrstvy povlakov sa významne podieľajú na zamedzovaní tvorby nárastkov na ostrie nástroja. Metódy povlakovania sa dajú rozdeliť do troch základných skupín:

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikálne naparovanie), ktorá je charakteristická nízkymi pracovnými teplotami (pod 500 °C). Táto metóda bola pôvodne vyvinutá pre povlakovanie nástrojov z rýchlореzných ocelí. V poslednom období dochádza

k veľmi významnému rozvoju metód PVD a rozširovaniu ich aplikácií tiež pre spekané karbidy. Povlak je najčastejšie vytváraný:

- naparováním,
- naprašovaním,
- iontovou implantáciou.

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) – chemické naparovanie z plynnej fázy, ktorá prebieha za vysokých teplôt ($700 \div 1500$ °C). Táto metóda je hlavnou metódou povlakovania spekaných karbidov a môže byť realizovaná v týchto variantách:

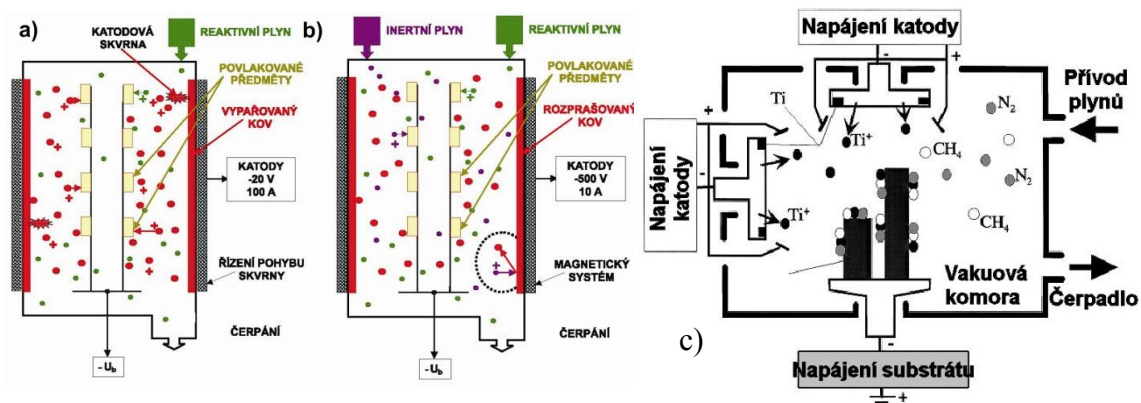
- tepelne indukovaná,
- plazmaticky aktivovaná,
- elektrónovo indukovaná (lúč elektrónov),
- fotónovo indukovaná (laser).

Charakteristika	PVD		CVD
	Napařování	Naprašování	
Mechanismus tvorby materiálu povlaku	Tepelná energie	Přenos pohybové energie	Chemická reakce
Rychlost povlakování [\AA min^{-1}]	Může být velmi vysoká, až 750000	Nízká, s výjimkou povlaků z čistých kovů (např. 10000 u Cu)	Střední 200÷2500
Rovnoměrnost pokrytí	Špatná v přímočarém směru (ne při rozptýlu plynu)	Dobrá, s nerovnoměrným rozložením tloušťky	Dobrá
Deponované částice	Atomy a ionty		Atomy
Energie deponovaných částic [eV]	Nízká, 0,1÷0,5	Vysoká, 1÷100	Může být vysoká u metody PACVD
Bombardování substrátu nebo povlaku	Běžně ne	Ano	Možné
Narušování povrchu rostoucího povlaku			Ano (otěrem)
Nanášení kovů	Ano		
Nanášení kovových slitin			
Nanášení těžkovatitelných sloučenin			
Ohřev substrátu (externími prostředky)	Ano, běžně	Zpravidla ne	Ano

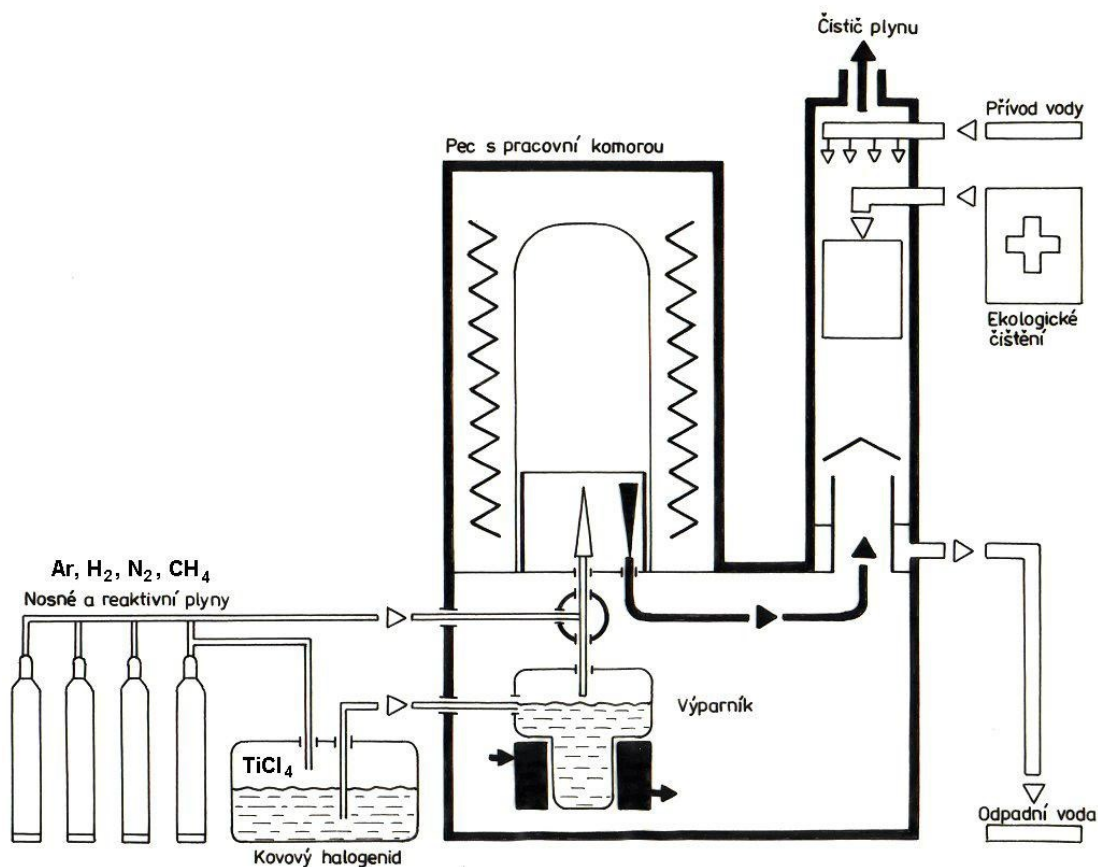
Obr. 4.4 Porovnanie metod PVD a CVD [11]

Metoda MTCVD – na rozdiel od konvenčnej CVD technológie, pri ktorej je teplota nanášania povlakou $1000 \div 1040$ °C. MTCVD technológia umožňuje použiť teploty podstatne nižšie ($700 \div 850$ °C). Hlavnou výhodou MTCVD technológie je to, že v dôsledku nižšej reakčnej teploty dochádza k značnému nárastu húževnatosti, prípadne jej zachovania. Mikrotvrdosť bežne pripravených karbonitridov má klesajúcu tendenciu v smere od substrátu k povrchu vzorku. Je to dôsledok faktu, že v smere narastania povlakou rastie aj jeho zrnitosť, ktorá je príčinou poklesu mikrotvrdoti. Zrnitosť MT-TiCN vrstvy je najmenšia práve v miestach, kde MT-TiCN vrstva začína rásť. Mikrotvrdosť môže obecnne kolísať od 1600 do 3000 $\text{HV}_{0,05}$ v závislosti na zrnitosti a na

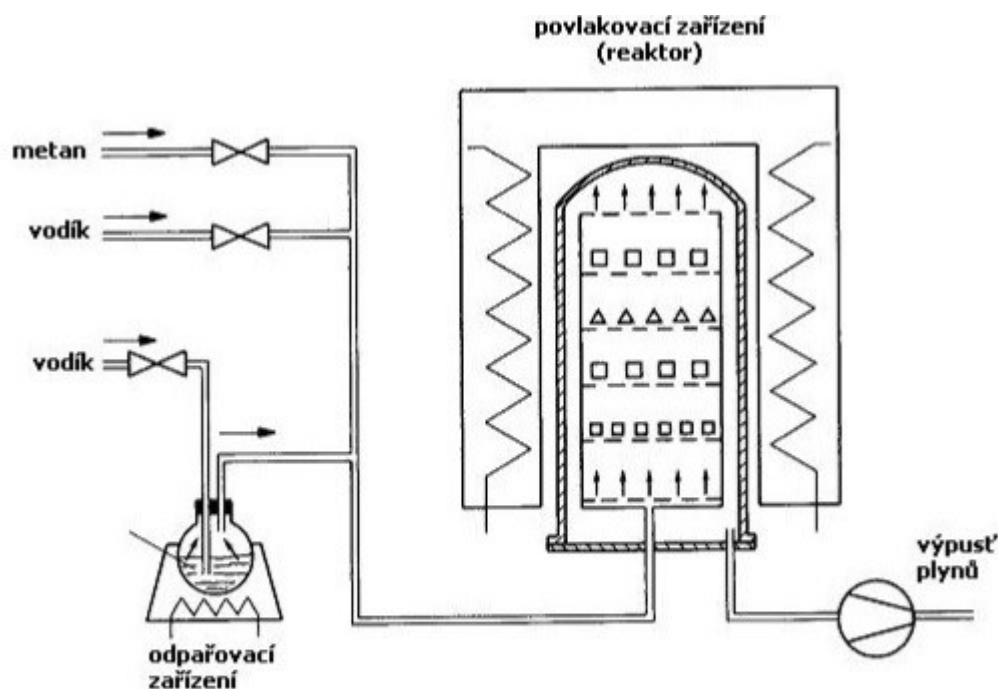
reakčných podmienkach nanášania povlaku (tlak, teplota, koncentrácia jednotlivých chemických látok). [11]



Obr. 4.5 Povlakovanie metódou PVD : a)naparovanie, b)naprašovanie, c)iontové plátovanie) [19]



Obr. 4.6 Povlakovanie metódou CVD [19]



Obr. 4.7 Povlakovanie metódou MTCVD [4]

5 Trvanlivosť a životnosť nástrojov

Každý nástroj sa behom svojej činnosti opotrebováva, postupne stráca ostrosť, až do doby kedy sa úplne otupí. Otupením nástroja zaniknú jeho rezné schopnosti a nástroj sa musí naostriť alebo vymeniť. Práca s otupeným nástrojom je neekonomická, nebezpečná a vo veľa prípadoch vedie k poškodeniu nástroja, obrobku alebo dokonca stroja.

Trvanlivosť nástroja, podobne ako opotrebenie nástroja, závisí hlavne na metóde obrábania (sústruženie, frézovanie, vŕtanie, atď.), vlastnostiach obrábaného a nástrojového materiálu a rezných podmienkach ako sú: rezná a posuvová rýchlosť, šírka záberu ostria, rezné prostredie. Už od začiatku 20. Storočia zistil Frederick Winslow Taylor, že z rezných podmienok má na trvanlivosť nástroja najväčší vplyv práve rezná rýchlosť a odviedil základný vzťah pre vzájomnú závislosť týchto dvoch veličín, ktorý je u nás známy pod názvom “závislosť $T - V_c$ “, (niekedy tiež “Taylorov vzťah“). [12]

Taylorov vzťah

$$T = \frac{C_T}{V_{cm}} \text{ [min]}, \quad (5.1)$$

Kde:

C_T [-] - konštanta,

V_c [m min^{-1}] – rezná rýchlosť,

m [-] – exponent

alebo

$$V_c = \frac{C_v}{T^{1/m}} \quad [\text{m min}^{-1}], \quad (5.2)$$

C_v [-] - konštanta (pretože $C_v = C_T^{1/m}$, je radová veľkosť konštanty C_v iba $10^2 \div 10^3$).

Životnosť nástroja je potom definovaná ako súčet všetkých jeho trvanlivostí, alebo ako celková doba funkcie nástroja od prvého uvedenia do činnosti až do jeho vyradenia. Nástroje, ktoré sa dajú ostriť sú vyradené v prípade že bola odbrúsená celá ich funkčná časť, vymeniteľné rezné doštičky potom v prípade, že boli použité všetky ich ostria. [12]

Vzťah pre výpočet životnosti :

$$Z = \sum_{i=1}^{x+1} T_i = (x+1) \cdot T \quad [\text{min}], \quad (5.3)$$

alebo

$$Z = \sum_{i=1}^q T_i = q \cdot T \quad [\text{min}], \quad (5.4)$$

T_i [min] - jednotlivé trvanlivosti,

T [min] - aritmetický priemer hodnôt T_i ,

x [-] - počet možných ostrení nástroja.

q [-] - počet použiteľných ostrí doštičky.

6 Popis a postup opracovania pútnických valcov

Pútnické valce sú vhodné pre pútnické stolice valcovní trub, s ktorých výrobou má firma dlhoročné skúsenosti. Doporučený materiál pre výrobu týchto valcov je oceľoliatina. Označuje sa V75Mo alebo V115CrW. Tvrdosť týchto valcov sa pohybuje v intervale od 270 HB až 340 HB. Z Třinca sa dodávajú s opracovaným telom a čapmi, predliatym kalibrom, ale bez koncového opracovania kalibru. [1]

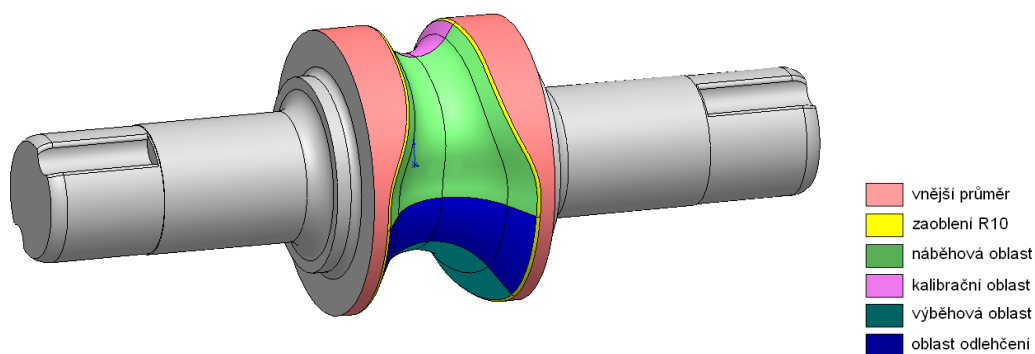
Najväčší priemer valcov je 900 mm, ale dajú sa vyrábať aj väčšie. Všetko závisí na dohode so zákazníkom. Príklad 10" výkresu pútnického valca vid' príloha A.

Dávnejšie sa používali na frézovanie VRD SANDVIK : RCKT2006MO-PH, ktoré boli a pravdepodobne stále aj sú najlepšie, lenže sú dosť drahé. Cena vychádza okolo 330kč/ks. Momentálne sa používajú VRD PRAMET RCMT 20-1373001 s povlakom M9315.

Sústruženie čapov a frézovanie unášacích drážok zhotovujú Strojírny Třinec, a.s na prevádzke Sústružňa Valcov (BS) vrátane zaistených polotovarov (odliatky označené písmenami S alebo H) Frézovanie tvarovej dutiny pútnického valca zhotovuje dielňa BMmn v Ostrave. Opracovanie pútnických valcov prebieha podľa výkresovej dokumentácie, ktorú dodá zákazník.

6.1 Frézovanie valcov

Pre frézovanie nových a renováciu opotrebovaných valcov pre Malý a Veľký Mannesmann je generovaný NC kód. Oblasti tvaru valca, ktoré sú obrábané NC kódom, sú vyznačené nižšie (obr. 6.1).



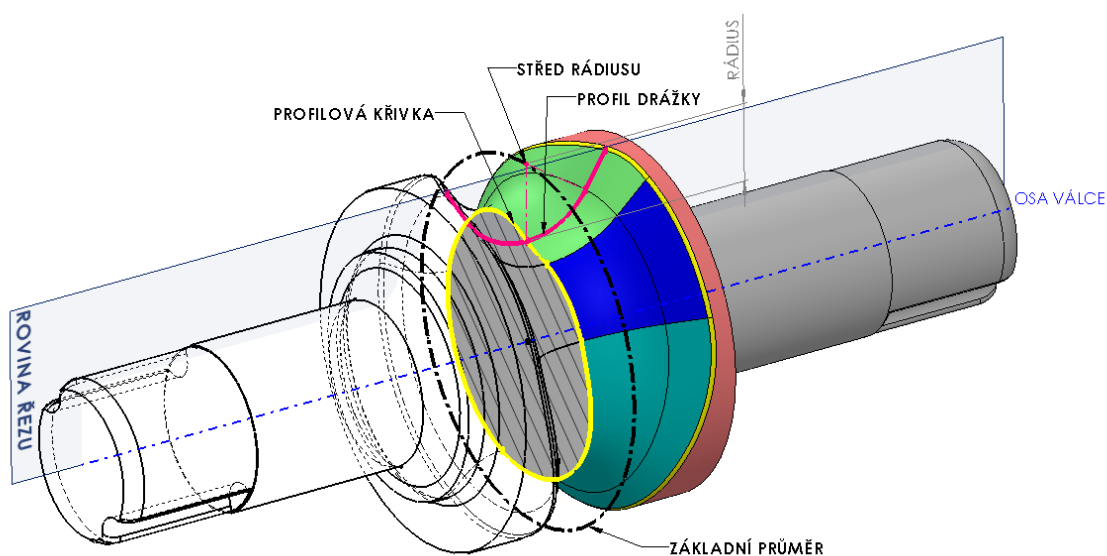
Obr. 6.1 Farebne vyznačené plochy obrábané frézovaním [20]

Riešenie frézovania sa rozdeľuje do dvoch základných častí:

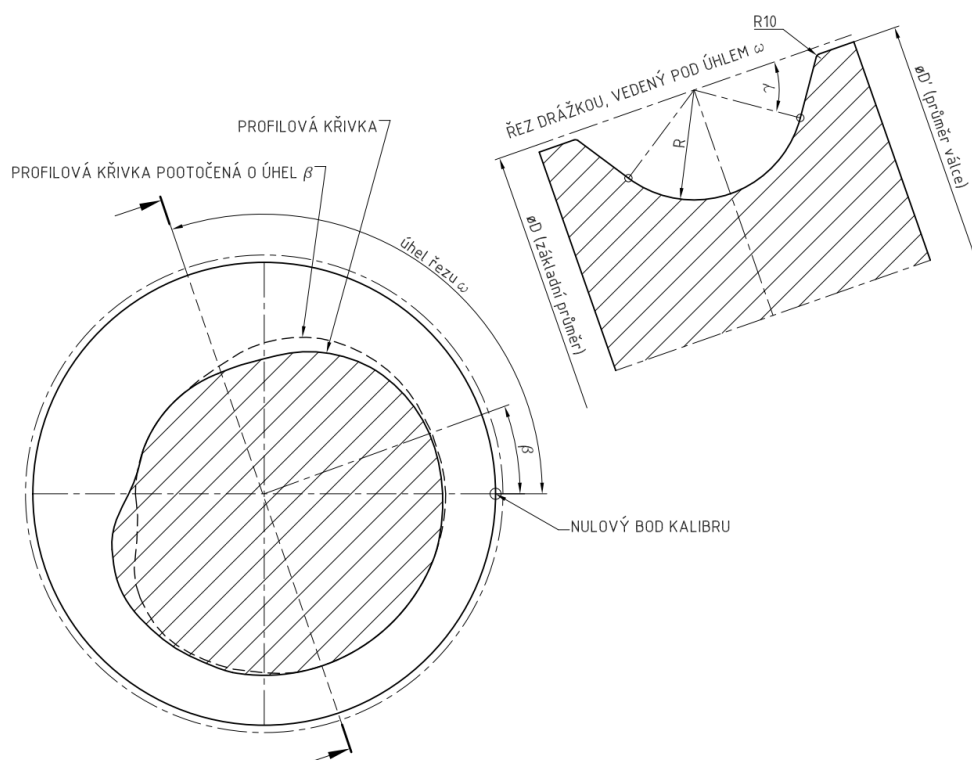
- Skenovanie tvaru vyznačeného na obr. 6.1 u nových valcov a valcov pred renováciou
- Výpočet dráhy a vygenerovanie NC kódu pre frézovanie tvaru vyznačeného na obr. 6.1.

Hlavným riešením je aplikácia MM Rollers. Jej účelom je poskytnúť užívateľovi potrebné nástroje pre vygenerovanie NC kódu pre frézovanie pútnických valcov. Okrem generovania NC kódu je možné z prostredia aplikácie MM Rollers vyvolať aj strojnú simuláciu obrábania, ktorá slúži k finálnej kontrole správnosti definície celého obrábania.

6.2 Definícia tvaru funkčnej časti valca – tvaru drážky valca



Obr. 6.3 Základné entity pre definíciu tvaru drážky [20]



Obr. 6.4 Konštrukcia jedného rezu tvarom drážky [20]

Definičná krivka:

Jedná sa o dátový popis tvaru referenčnej profilovej krivky vzťahujúcej sa k špecifickému priemeru základnej kružnice kalibru.

Profilová krivka:

Je odvodená z tzv. definičnej krivky. Kombináciou definičnej krivky konkrétneho základného priemeru a kalibru je definovaný tvar profilovej krivky pre daný typ valca.

Profil drážky:

Profil drážky je tvar, ktorý vznikne rezom prechádzajúcim osou valca pod uhlom ω . Uhol ω je meraný od nulového bodu kalibru (obr. 6.4). Profil rezu je tvorený rádiusom a dvomi výbehovými hranami, ktoré dotyčnicovo vybiehajú z rádiusu pod tzv. uhlom výbehu (obr. 6.4).

Uhol výbehu:

Uhol výbehu sa môže pre jednotlivé rezy meniť. Napr. pre kalibračnú oblasť 31° a pre nekalibračnú oblasť 34° . V nábehovej a výbehovej oblasti sa potom tento uhol plynule mení z jednej hodnoty na druhú.

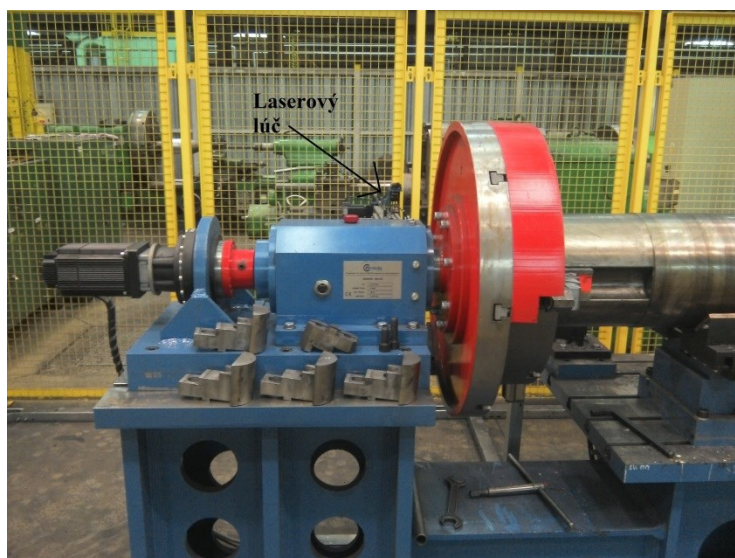
Tvar drážky:

Funkčná časť valca – tvar drážky je definovaný ťažením profilu drážky po profilovej krivke tak, že stred rádiusu leží vždy na kružnici základného priemeru a veľkosť rádiusu je vždy rovná vzdialenosti medzi bodom na profilovej krivke a bodom na kružnici základného priemeru v rovine daného rezu (obr. 6.4).

6.3 Skenovanie tvaru

Cieľom bolo presunutie meraného tvaru valca, ktoré sa vykonávalo na obrábacom stroji na špeciálne meracie zariadenie. Tím sa zvýšila kapacita obrábacích strojov pre samostatné obrábanie.

Výsledky nového spôsobu skenovania budú detailnejšie ako u predchádzajúceho riešenia (kedy bolo vykonávané na obrábacom stroji dotykovou sondou) a umožňuje lepšie optimalizovať dráhu nástroja. Napr. umožní aplikovať rýchloposuv pre časti dráhy nástroja, v ktorých nástroj nie je v kontakte s materiálom, alebo tieto časti dráhy vynechať. Z naskenovaného tvaru budú odvodené kompatibilné varianty valca. Naskenovaný tvar bude tiež vstupovať do strojnej simulácie ako predvolený tvar materiálu.



Obr. 6.5 Skenovanie valca laserovou sondou

6.3.1 Aplikácia MM Rollers

Jedná sa o Windows aplikáciu. Všetky vykonané definície obrábania sa budú uchovávať. Je možné priamo z prostredia aplikácie sledovať históriu renovácií jednotlivých valcov.

6.3.2 Definícia obrábania – výpočet dráhy

Pre obrábanie veľkých valcov sa používa jeden rozmer nástroja a to Toroidná fréza priemeru 100 mm s ôsmymi guľatými doštičkami polomeru R10.

Vstupy pre výpočet dráhy:

- definičná krivka,
- základný priemer,
- rozmer kalibru,
- uhol β ,
- uhol výbehu v kalibračnej oblasti,
- uhol výbehu v oblasti odľahčenia (nekalibračná oblasť),
- nástroj,
- uhol vyklonenia nástroja,
- max. krok pre hrubovanie,
- max. krok pre dokončenie,
- max. drsnosť povrchu pre hrubovanie/dokončenie,
- max. hĺbka odobratia,
- prídavok pre dokončenie,
- dáta zo skenovania tvaru polotovaru,
- typ stroja a jeho limity pojazdov jednotlivých os.

Simulácia obrábania:

Vypočítanú dráhu je možné overiť pomocou simulátoru stroja. Simulácia vie zistiť prípadné kolízie časti stroja s materiálom obrobku. Kontroluje limity stroja. Umožňuje analýzu obrobeného tvaru s teoreticky presným cieľovým tvarom.



Obr. 6.6 Windows software MM Rollers



Obr. 6.7 Špeciálna frézka na pútnické valce

6.4 Spôsob opracovania tvarovej dutiny pútnických valcov

Veľký priemer a tvarová dutina pútnického valca sa zhotovuje na špeciálnej frézke (obr. 6.7). Frézovanie tvaru prebieha podľa CNC programu, ktorý generuje software MM Rollers. Pred začiatkom opracovania je každý pútnický valec premeraný pomocou sondy (obr. 6.5), čím sa určí opotrebenie valca. Podľa tohto opotrebenia určí software veľkosť odobraného materiálu.

Po vyhrubovaní tvarovej dutiny a následnej hladiacej triesky je opracovanie na frézke dokončené. Následne sa ručne dobrušujú boky funkčnej časti tvarovej dutiny pútnického valca. Toto dobrušovanie sa prevádza podľa požiadavkou Třineckých železáren, a.s. z dôvodov nalepovania materiálu v týchto miestach pri valcovaní trubiek (obr. 6.9). Po opracovaní a dobrušení sú pútnické valce označované na čelách čapov a v tvarovej dutine (obr. 6.11).

6.5 Jednouúčelová CNC frézka na pútnické válce

CNC frézka je určená pre opracovanie predvolených odliatkov pútnických valcov a pre ich postupnú renováciu.



Obr. 6.8 Frézovanie pútnického valca

Technické parametre stroja (obr. 6.7):

Rám stroja: zváraný z profilov a ocelových plechov, dôležité zvary z dôvodu tlmenia vibrácií vyliate plastbetónom od firmy EPUCRET. Stroj sa skladá z dvoch základných častí. Stolu a vlastnej trojosej horizontálnej frézky. Obe časti sú prepojené železobetónovým blokom.

Rozmery odtlmeného základového železobetónového bloku:

dĺžka 6,00 m; šírka 4,50 m; hĺbka 1,70 m.

Rozmery stroja: dĺžka 6,30 m; šírka: 4,40 m; výška: 2,80 m.

Hmotnosť stroja: 12 400 kg.

Počet os CMC frézky: 4 – X,Y,Z,A.

Rozsahy posuvov: X 880 mm; Y 500 mm; Z 450 .

Vreteno: poloha horizontálna,
výkon 9 kW,
max. otáčky: 1 500 ot / min,
upínanie ISO 50.

Obrobok: max. rozmery \varnothing 830 mm; dĺžka 2000mm; max. hmotnosť obrobku: 2500 kg.

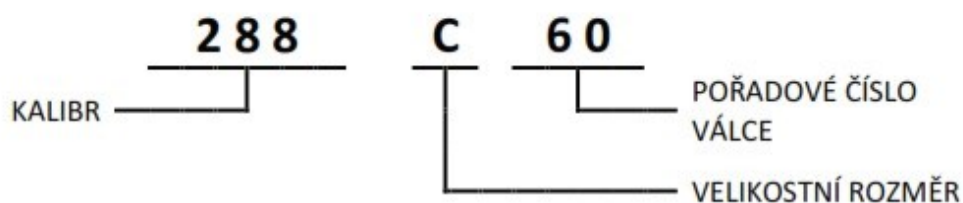
Čas obrábania: 3 – 6 hod. v závislosti na veľkosti pútnického valca a požadovanej drsnosti Ra.



Obr. 6.9 Ručné dobrušovanie valcov [20]



Obr. 6.10 Pracovisko dobrušovania pútnických valcov [20]

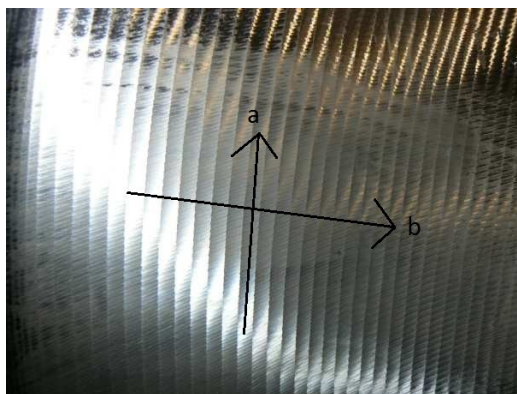


Obr. 6.11 Spôsob označenia pútnických valcov pre Veľký Mannesmann [20]

V prípade, že je opotrebenie pútnického valca minimálne, nedochádza k jeho opracovaniu na frézke, ale prevedie sa iba ručné prebrúsenie tvarovej dutiny.

6.6 Drsnosti valca

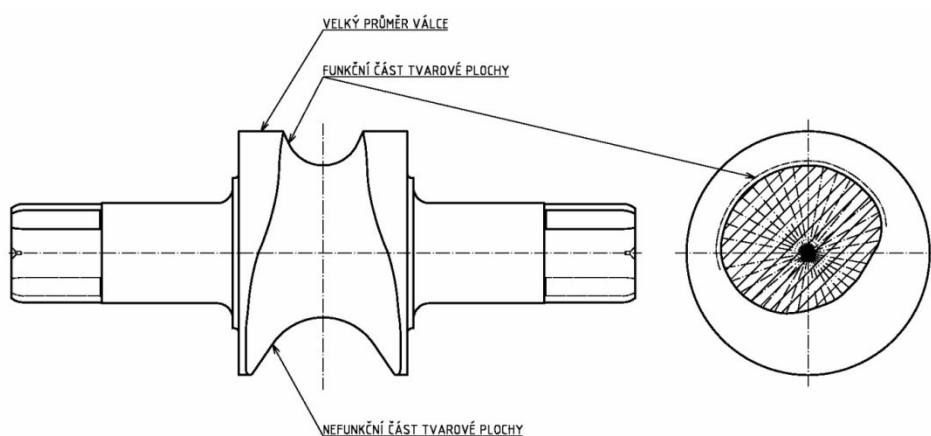
Podľa platnej výkresovej dokumentácie pútnických valcov má byť dutina opracovaná na drsnosť $R_a = 12,5 \mu\text{m}$. Táto drsnosť nie je z dôvodu tzv. riadkovania pri frézovaní dodržaná. Pre kvantifikáciu kvality opracovania v tvarovej dutine na pútnických valcoch bola meraná drsnosť plôch podľa metodiky zobrazenej na obr. 6.12 a obr. 6.13.



Obr. 6.12 Metodika merania drsností plôch tvarovej dutiny pútnického valca po frézovaní : a - meranie v smere riadkov, b - meranie cez riadky



Obr. 6.13 Metodika merania drsností plôch tvarovej dutiny pútnického valca po ručnom brúsení : a) meranie cez pôvodne riadky, b) meranie v smere pôvodných riadkov



Obr. 6.14 Nákres pútnického valca s vyznačením obrábaných plôch [20]

Strojírny Třinec, a.s dodávají pútnické valce v týchto kvalitách :

1. Veľký priemer valca (nefunkčná plocha):
 - drsnosť plochy nepresiahne $R_a = 5 \mu\text{m}$ v akomkoľvek smere merania.
2. Funkčná časť tvarovej dutiny:
 - drsnosť plochy nepresiahne $R_a = 15 \mu\text{m}$ v akomkoľvek smere merania.
3. Nefunkčná časť tvarovej dutiny:
 - drsnosť plochy nepresiahne $R_a = 20 \mu\text{m}$ v akomkoľvek smere merania.
4. Boky funkčnej časti po ručnom dobrúsení:
 - drsnosť plochy nepresiahne $R_a = 15 \mu\text{m}$ v akomkoľvek smere merania.

6.7 Čas opracovania valcov

Čas pre opracovanie daného valca je závislý na tom, či sa valec frézuje z opotrebovaného valca alebo z nového valca (odliatku). Čas pre opracovanie opotrebovaného valca je potom závislý na veľkosti opotrebenia predvoleného valca, čas pre opracovanie nového valca je potom závislý na veľkosti valca a na veľkosti kalibru.

Tab. 6.1 Čas pre opracovanie pútnických valcov [20]

Polotovár pre opracovanie	Veľkosť valca				
	7"	8"	10"	12"	14"
Nový odliatok	Cca 24 hodín				
Opotrebovaný	Cca 6 hodín		Cca 8 hodín		

6.8 Charakteristika materiálu valca

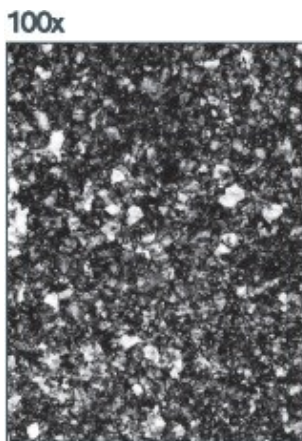
K výrobe pútnických valcov sa v súčasnosti používa výhradne liatina triedy 19 označovaná ako V75Mo. Chemické zloženie liatiny je uvedené v Tab. 6.2.

Tab. 6.2 - Chemické vlastnosti materiálu V75M_o

Chemické zloženie [%]								
C	Mn	Si	Pmax	Smax	Ni	Cr	Mo	V
0,6-0,9	0,6-0,8	0,3-0,8	0,020	0,020	0-0,5	1,3-1,7	0,5-0,8	0-0,2

Fyzikálne vlastnosti materiálu:

- Pevnosť v ťahu [MPa]: 850 – 1150
- Medza klzu [MPa]: 550 – 950
- Pevnosť v ohybe [MPa]: 1550 – 1950



Obr. 6.15 Mikroštruktúra materiálu V75M_o [17]

7 Použitie pútnických valcov

Pútnické valce sa po opracovaní nainštalujú na pútnickú stolicu, kde sa vyrábajú bezšvové trubky. Trubky sa valcujú za tepla. Podľa požiadavky zákazníka na priemer trubky sa používajú určité pútnické valce.

7.1 Popis postupu výroby bezšvových trubiek

Bezšvová trubka sa v podmienkach valcovne Veľký Mannesmann vyrába dierovaním ohriateho kruhového kontizliatku do rozmerovo rovnomerného dutého hrubostenného predvalku, ktorý je v jednom žiari na pútnickej stolici jedinečnou technológiou kombinujúcou kovaním a valcovaním predĺžený do surovej pútnickej trubky s cieľom získať rovnomernú hrúbku steny. Teplota ohrevu pred dierovaním v oblasti stabilného austenitu, 1260 – 1290 °C, niekedy 1300 °C, v karuselovej peci, teplota po dierovaní vnútri 1270 – 1300 °C. [21]

Po predlžovacej operácii sa surová pútnická trubka dohreje a kalibruje v kalibrujúcom stroji s cieľom dosiahnuť rovnomerný vonkajší priemer po dĺžke trubky. Po schladnutí musí trubka okrem požadovaného rozmeru spĺňať aj predpísané mechanické vlastnosti, tiež prípadné technologické skúšky podľa technických dodacích podmienok a príslušné rozmerové normy alebo viac noriem, ak by bola trubka vyrobená s viacnásobnou certifikáciou. Predlžovacia operácia predvalku do trubky v pútnickej stolici je v obore tvárnenia kovov natoľko špecifická, že nie je odborne ustálený názor, pokiaľ ide o valcovanie alebo o kovanie. Teplota ohrevu trubky pred kalibrovaním do oblasti stabilného austenitu, 950 – 1000 °C v krokovej peci.

Ohrev:

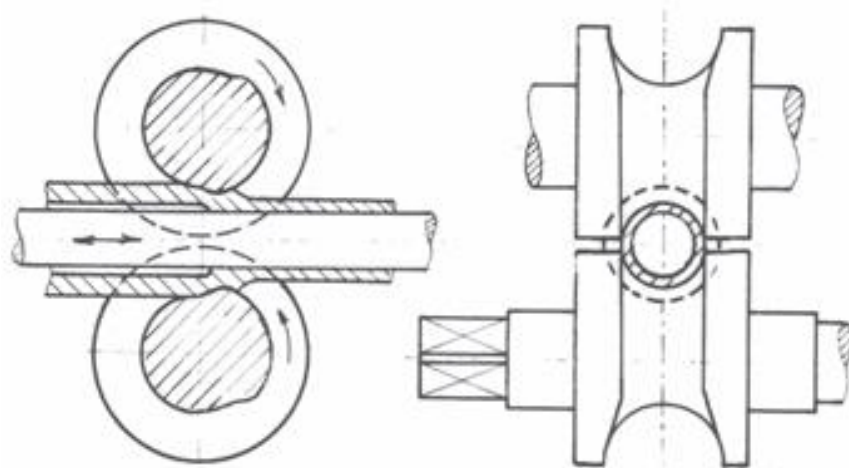
Valcovacia trať Veľký Mannesmann ohrieva kruhovú vsádzku v karuselovej peci ohrievanej zemným plynom s cieľom dosiahnuť rovnomerný ohrev vsádzky po priereze, aby bola dosiahnutá rovnomerná hrúbka steny dutého predvalku po dierovaní a rovnomerná hrúbka steny trubky po vyvalcovaní. Dobra ohrevu je rozdelená v závislosti na obsahu uhlíka vo vsádzke do štyroch skupín materiálov:

- prvá skupina: nelegované s obsahom uhlíka max. 0,30 % a mikrolegované,
- druhá skupina: nelegované s obsahom uhlíka 0,30 – 0,50 % a nízkolegované,

- tretia skupina: s obsahom uhlíka nad 0,50 % strednelegované so zníženou tepelnou vodivosťou,
- štvrtá skupina: vysokolegované ocele.

Každá z uvedených štyroch skupín ocelí ma predpísanú dobu ohrevu, ktorá sa vzťahuje na priemer vsádzky. Ďalej teplotu v okne pece, predpísanú teplotu v ohrievacej zóne, kde sa dosahuje maximálna ohrievacia teplota a ďalej má každá skupina ocelí predpísanú teplotu po dierovaní, ktorá sa meria za dierovacím strojom.

Spojité valcovanie trubiek je výhodné z hľadiska vysokých rýchlostí valcovania, z hľadiska jednoduchého výrobného postupu, možnosti valcovať trubky malej hrúbky stien (2 mm) a konečná kvalita povrchu je veľmi dobrá. Nevýhodou je potreba veľkých zásob tŕňov a valcov a môžeme valcovať iba trubky malých rozmerov (do 150 mm). Linka sa skladá z ohrevu, dierovacieho dvojvalca s pútnickou stolicou alebo trojvalcové s vlastnou viacstojanovou valcovacou stolicou, so stolicou pre vyťahovanie tŕňov a z ochladenia. [20]



Obr. 7.1 Schéma valcovania na pútnickej stolicí [21]

8 Návrh nových nástrojov pre frézovanie kalibru

Nové nástroje sa v praxi navrhujú čoraz častejšie. Vývoj rezných materiálov a ich povlakov ide vpred a tak sa firmy snažia vynájsť, čo najefektívnejší a najlacnejší spôsob obrábania.

Pre zefektívnenie výroby pútnických valcov sa kládol dôraz na životnosť nástroja a cenu. V minulosti boli používané VRD značky SANDVIK typu RCKT2006Mo-PH 4230, ktoré boli a stále aj sú najlepšie, lenže sú moc drahé. Ich cena vychádza na 355kč/ks. Momentálne sa používajú doštičky značky PRAMET RCMT 20-1373001 s povlakom M9315, ktoré sú najvýhodnejšie hlavne trvanlivosťou životnosťou a cenou. Cieľom navrhnutých nových VRD bolo hlavne zníženie ceny a opotrebovania VRD. Výsledky boli skúmane vizuálne.

Tab.8.1 Návrh nových doštičiek

Výrobca VRD	Typ VRD	Povlak	Cena
PRAMET – terajšie	RCMT 20 - 1373001	M9315	237,4 Kč/ks
SECO	RPKT 2006M0T	MK2050	240 Kč/ks
		MP1500	
		T350M	
SAFETY	RCMT 2006M0 SNF8	5020	326,2 Kč/ks
		2003	339,5 Kč/ks

8.1 Vymeniteľná doštička PRAMET RCMT 20-1373001 - M9315

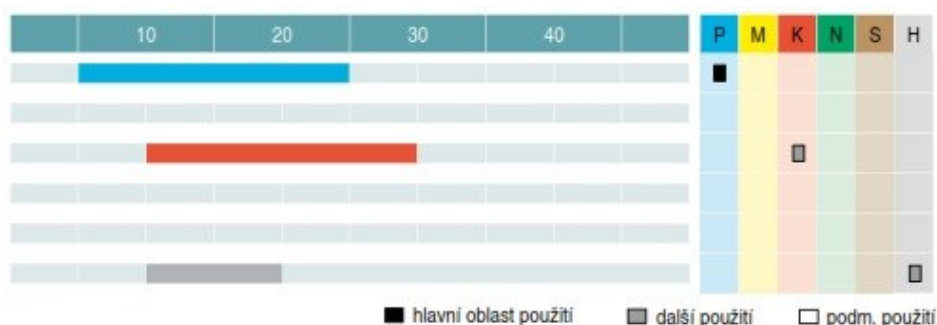
Materiál M9315 je členom novej UP!GRADE GENERÁCIE materiálov. Jedná sa o frézovací materiál vyvinutý pre dosiahnutie vysokej produktivity obrábania a vysokej odolnosti oproti opotrebovaniu.

Kombinácia zo stredne až jemnozrnného substrátu so stredným obsahom Co fázy a úplne nového MT-CVD povlaku robia z materiálu M9315 ideálnu voľbu pre frézovanie

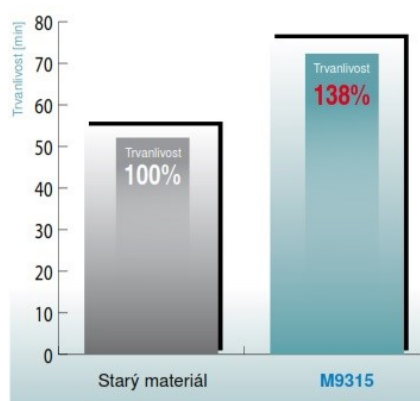
materiálov skupiny P pri stabilných rezných podmienkach. Je tiež vhodný pre produktívne obrábanie tvárnej liatiny pri nestabilných rezných podmienkach a obrábania nástrojovej oceli. Materiál M9315 je predovšetkým nástupcom predošlého materiálu 2215 pre aplikáciu na uhlíkových oceliach.

Tenký CVD Povlak aplikovaný technológiou MT-CVD je kombináciou vrstvy TiCN a unikátnej vonkajšej vrstvy $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Vďaka tomuto povlaku získava rezná hrana veľmi dobrú integritu, húževnatosť a odolnosť voči opotrebovaniu pre širokú aplikačnú oblasť. Je tu dosiahnutá veľmi dobrá adhézia povlaku a substrátu. U tohto nového materiálu je behom rezného procesu redukovaný prenos tepla do jadra spekaného karbidu, preto môže byť použitý aj pri vyšších rezných rýchlostiach.

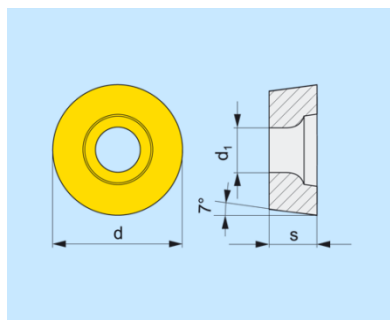
Materiál M9315 Je vyrábaný zo stredne až jemnozrnných karbidov, s nízkym počtom kubických karbidov obsahujúci tantal a niob. Vďaka strednému obsahu kobaltu a vhodnej veľkosti zŕn bolo dosiahnutej dobrej kombinácie vysokej odolnosti voči opotrebovaniu a tvrdosti pri značnej húževnatosti. [13]



Obr. 8.1 Technické informácie M9315 [13]



Obr. 8.2 Porovnanie trvanlivosti so starým materiálom [13]



Obr. 8.3 Doštička RCMT 20 –1373001 M20 [13]

8.2 Vymeniteľná doštička *SECO RPKT 2006M0T*

- MK 2050 – Pre frézovanie liatiny – s predvídateľným opotrebovaním

MK2050 je nová kvalita rezného materiálu, špeciálne navrhnutá pre frézovanie liatiny s rôznymi reznými podmienkami v automobilovom priemysle (napr. pri výrobe blokov motorov a hlavy valcov) a vo všeobecnom strojárstve.

MK2050 je možné používať s chladiacou kvapalinou alebo aj bez nej a pre všetky druhy liatiny, vrátane tvárnych liatin.

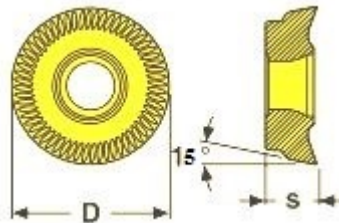
MK2050 obsahuje nanovo vyvinutý substrát s vysokou tvrdosťou pre rovnomerné a predvídateľné opotrebenie, čo zabezpečuje dlhú životnosť nástroja a vysokú bezpečnosť pri jeho používaní. Obsahuje pevné častice karbidu wolfram s nízkym obsahom spojivovej fázy. Sú povlakované vrstvou PVD TiSiN-TiAlN odolnou voči opotrebovaniu. Táto nová zmes predstavuje optimálnu rovnováhu medzi pevnosťou a tvrdosťou triedy pre obrábanie tvárnej a šedej liatiny. Výsledkom je vysoká produktivita a dlhá spoľahlivá životnosť, a to aj v aplikáciách s nestabilnými podmienkami v obrábaní. [14]

- MP 1500 – extrémna odolnosť voči opotrebovaniu pre nástrojovú oceľ. Vyššie rezné rýchlosti, vynikajúci výkon, maximálna produktivita

MP 1500 je veľmi tvrdá a odolná oproti opotrebovaniu a je ideálna pre frézovanie tvrdších ocelí. Má vynikajúci výkon pri obrábaní tvrdých ocelí aj pre ťažko obrábatel'né liatinové materiály. Je ideálna pre frézovacie aplikácie so stabilnými podmienkami obrábania. Vysoká odolnosť oproti opotrebovaniu vedie k vyššej produktivite a maximálnemu výkonu čo má zmysel v obrábaní súčiastok v kratšom čase. [15]

- T350M – veľmi ťažké a náročné operácie u mäkkých až stredne legovaných ocelí (Seco materiálové skupiny 1-5).

Je prvou voľbou pri obrábaní super zliatin materiálovej skupiny Seco 20. Má veľmi dobrú húževnatosť v porovnaní s inými v tejto oblasti používania. Povlak MTCVD Ti(C,N) a Al₂O₃ slúži aby sa minimalizovalo príľnavosti pri lepkavých materiáloch.



Obr. 8.4 Doštička RPKT 2006 M0T M20 [14]

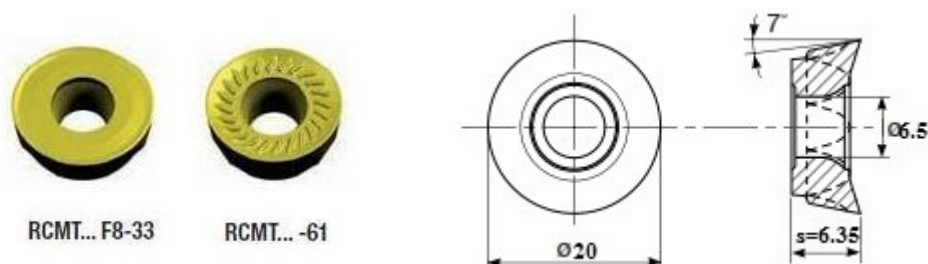
8.3 Vymeniteľná doštička SAFETY RCMT 2006M0 SNF8

- 5020 – karbid s PVD povlakom (TiAlN-TiN) žltej farby.

Univerzálny materiál s dobrou rovnováhou medzi odolnosťou proti opotrebeniu a húževnatosťou. Aplikuje sa na dokončovanie a ľahké hrubovanie ocelí, nerezových ocelí, tepelne odolné zliatiny a zliatiny titánu. Disponuje nepretržitým a mierne prerušovaným rezom v dobrých podmienkach obrábania. Ďalšia trieda pre liatiny neželezných materiálov a zliatin.

- 2003 – karbid s PVD povlakom (TiAlN) šedej farby.

Má vynikajúcu odolnosť oproti opotrebovaniu. Aplikuje sa na tvrdý materiál a na úpravu pre zliatiny. Používa sa pre nerezové ocele a žiaruvzdorné liatiny. [22]



Obr. 8.5 Doštička RCMT 2006M0 SNF8 [22]

Tab. 8.1 Zvolené parametre pri testovaní

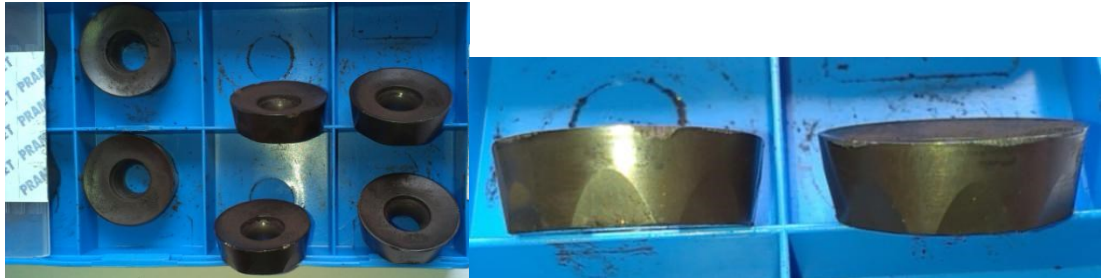
	1	2
Dodávateľ	PRAMET	SECO
Rezný nástroj	špec. teleso Pramet	R220.29-0100-10.8-Sp
Rezný priemer	100 mm	100 mm
Počet zubov	8	8
Vyloženie nástroja	cca 250 mm	cca 250 mm
Typ VRD	RCMT 20-1373001	RPKT 2006M0T
Geometria	M20	M20
Povlak	610 + 720	MK2050/MP1500/T350M
Rezná rýchlosť	251m·min ⁻¹	251m·min ⁻¹
Otáčky	800 min ⁻¹	800 min ⁻¹
Posuv na zub	Daný programom – mení sa	Daný programom – mení sa
Posuv stola	300 – 1000 mm·min ⁻¹	300 – 1000 mm·min ⁻¹
Hĺbka rezu	0,5 – 2,5mm	0,5 – 2,5 mm
Šírka rezu	20 – 40 %	0,5 - 2,5 mm
Výsledky:		
Doba rezu v min.	2170	1151 2130 1260
Počet kusov	3	1,5 3 2
R_a	Ok	ok
Opotrebovanie	chrbový + vruby	sil.chrbt sil.chrbt sil.chrbt

9 Vyhodnotenie testu

VRD boli testované na rôznych valcoch (veľkosť, stav, materiál). Nie u každej VRD je doba v reze pravdivá, program u prvých triesok často jazdí na prázdno, alebo berie iba čiastočne. V tabuľke 8.1 nie sú uvedené doštičky od firmy SAFETY typ RCMT 2006M0 SNF8 s povlakom 5020 a 2003. Tieto doštičky nesedeli v telese PRAMET tak ako sa predpokladalo, takže neboli testované. Ich priemer bol o niekoľko desiatín väčší takže po upnutí nesedeli s osou v telese. V prílohe B sú uvedené časy a typy aplikácií, ktoré sa vykonávali pri frézovaní. Taktiež tam môžeme vidieť označenia valcov a výsledné časy s určitými VRD.

PRAMET M9315 – Tieto doštičky sa používajú na frézovanie valcov už rok. Nahradili doštičky značky SANDVIK, pretože ich cena bola podstatne nižšia. Vyznačujú sa kvalitným povlakom novej UP!GRADE generácie. Tento MTCVD povlak dosahuje vysoké hodnoty trvanlivosti.

Na teste dopadla najlepšie čo sa týka životnosti, preto sa budú používať pri frézovaní aj naďalej.



Obr. 9.1 – Opatrebovanie doštičky PRAMET M9315

SECO MP1500 – Doštičky výrobcov SECO sa vyznačujú taktiež vysokou odolnosťou. MP 1500 sú v podstate podobné doštičky ako doštičky značky PRAMET. Na teste dopadla druhá čo sa týka životnosti. Bolo by vhodné spraviť porovnávací test na väčšom objeme, nakoľko sú cenovo podobné s VRD PRAMET.



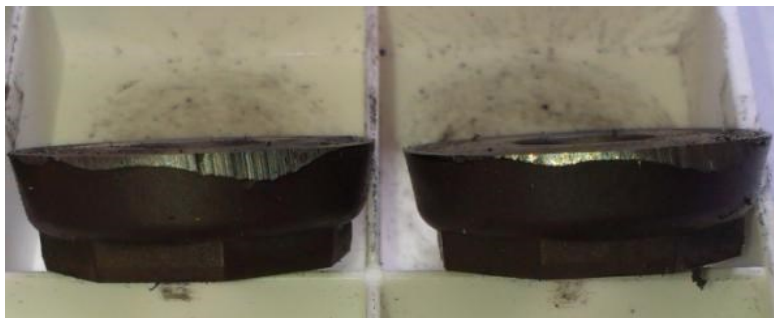
Obr. 9.2 – Opatrebovanie doštičky SECO MP1500

SECO T350M – Na teste dopadla tretia čo sa týka životnosti. Možnosť ďalšieho použitia týchto doštičiek bola vylúčená.



Obr. 9.3 – Opatrebovanie doštičky SECO T350M

SECO MK2050 – Na teste dopadla štvrtá čo sa týka životnosti. Dokázalo sa, že tieto VRD sú pre frézovanie nevýhodné.



Obr. 9.4 – Opatrebovanie doštičky SECO MK2050

Po frézovaní valcov boli premerané drsnosti, ktoré vyhovovali podľa daných kvalít. Z výsledkov testu môžeme vidieť, že VRD PRAMET sú najvýhodnejšou voľbou pre frézovanie pútnických valcov.

10 Záver a diskusia výsledkov

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zefektívnenie výroby pútnických valcov. Pre frézovanie valcov boli navrhnuté nové VRD viz Tab. 8.1, ktoré boli po preskúmaní trhu vybrané podľa najlepších možností technologom firmy Strojírny Třinec, a.s. a pracovníkmi firmy Seco. Prioritou bolo navrhnuť VRD tak, aby sa dosiahlo vyššej životnosti doštičiek.

V dnešnej dobe sa firmy snažia predovšetkým zrýchliť výrobu. Čím viac výrobkov vyrobia tým majú väčší zisk. Pre zefektívnenie výroby pútnických valcov je dôležité používať kvalitný rezný nástroj. Takisto sú dôležité parametre, ktoré sú pri tejto výrobe dané.

Na základe testovania týchto VRD bolo zistené, že podľa obr. 9.1 – obr. 9.4 najmenej trvanlivosti dosahujú doštičky typu MK2050 a najlepšie dopadli v teste doštičky od firmy Pramet M9315, ktoré sa momentálne používajú. Hlavnou výhodou tejto značky je dobrá trvanlivosť a podstatne menšia cena ako pri doštičkách SANDVIK, ktoré sa prestali používať nakoľko boli moc drahé. Potvrdilo sa, že tento nový povlak UP!GRADE generácie je skutočne odolný, na rozdiel od poslednej doštičky MK2050 môžeme pozorovať skoro až 4 násobne menšie opotrebenie. Taktiež sa zistilo, že nie vždy všetky objednané doštičky vyhovujú ako bolo dokázané pri objednaní zahraničných doštičiek značky SAFETY. Po opracovaní bola vždy premeraná drsnosť, ktorá vyhovovala predpísaným hodnotám.

Na základe testu bolo rozhodnuté, že sa vo firme budú naďalej používať VRD značky PRAMET. Tie dopadli v teste niekoľko násobne lepšie ako ostatné doštičky.

Pre ďalšie zefektívňovanie výroby pútnických valcov by mohli byť navrhnuté zmeny parametrov obrábania valcov, čo by podstatne ovplyvnilo ich opracovanie. Pri použití kvalitnej VRD a zrýchlenia pohybu obrobku do rezu by mohli byť výsledné časy obrábania kratšie, čím by sa zrýchlilo frézovanie valcov.

Pod'akovanie

Týmto by som chcel pod'akovať vedúcej mojej bakalárskej práce Ing. L. Petřkovské, Ph.D. z katedry obrábania a montáže VŠB – TU Ostrava za podnety k riešeniu práce. Ďalej tiež ďakujem Ing. Z. Mrúzekovi za poskytnutie cenných rád pri uskutočnení experimentu a firme Strojírny Třinec, a.s. za umožnenie vykonávať prácu v ich podmienkach.

V Ostrave, dňa 20. 5. 2012

Peter Jurdík

11 Použité zdroje

- [1] STROJÍRNY TŘINEC, a.s. *Aktuální prospekty: Letáky* [online]. 2013
[cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.strojirnytrinec.cz/pdf/prospekty/letak-poutni-valce.pdf>
- [2] Skupina TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY – MORAVIA
STEEL. [Http://www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/homepage_cz](http://www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/homepage_cz) [online]. © 2012
[cit. 2013-04-27]. Dostupné z:
http://www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/homepage_cz
- [3] O naší společnosti: Strojírny Třinec, a.s. *Strojírny Třinec, a.s.* [online]. © 2013
[cit. 2013-04-27]. Dostupné z:
http://www.strojirnytrinec.cz/cz/index.php?page=o_firme
- [4] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka
PETŘKOVSKÁ. *Technologie II: 1. díl*. Ostrava: VŠB - TU OSTRAVA, 2007.
ISBN 978-80-248-1641-8.
- [5] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka
PETŘKOVSKÁ. *Technologie II: 2. díl*. Ostrava: VŠB - TU OSTRAVA, 2007.
ISBN 978-80-248-1822-1.
- [6] JANÁČ, Alexander, Bohumil BÁTORA, Ivan BARÁNEK a Zdenko
LIPA. *Technológia obrábania*. Bratislava: STU, 2004. ISBN 80-227-2031-3.
- [7] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd.
Olomučany: CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [8] Automotive - autopriemysel: autoprumysl, strojárstvo. *Automotive -
autopriemysel* [online]. © 2005-2006 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z:
[http://www.autopriemysel.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=106
&Itemid=116](http://www.autopriemysel.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=106&Itemid=116)
- [9] *Nástroje a prípravky: Frézy*. 2007. Dostupné z:
[http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/3%20Frezy%20\(nastroje\).pdf](http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/3%20Frezy%20(nastroje).pdf)
- [10] HRNČIAR, V. *Nástrojové ocele. Nástrojové ocele* [online]. © 2006 [cit.
2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=161>

- [11] MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE: Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI. In: HUMÁR, Anton. *Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI*: <http://ust.fme.vutbr.cz/> [online]. 2006 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
- [12] HUMÁR, A. Technologie i technologie obrábění: 1. část. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. [cit. 2013-05-12] Studijní opory pro magisterskou formu studia “Strojírenská technologie“.
- [13] UP!GRADE vašeho obrábění: Produktové novinky. *Pramet* [online]. © 2013, 1.4.2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.pramet.com/cz/produkty/produktove-novinky.html/9_2431-up-grade-vaseho-obrabeni-/1
- [14] MK2050: Seco Tools. *Seco Tools* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/sk/Global/Products/Milling/MK2050/>
- [15] Duratomic: NEW MILLING GRADES 2008. In: *Seco Tools* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Products/Milling/gb_duratomic_milling_brochure.pdf
- [16] T200M & T350M: Increased productivity in milling. In: Seco Tools [online]. © 2003 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://legacy.secotools.com/upload/asia/china/milling/T200MT350M.pdf>
- [17] Material: V75Mo (+V) (Near-eutectoid cast steel): MATERIAL GRADES MATERIAL GRADES OF STATICALLY CAST ROLLS. In: *Vítkovické slévárny* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.vitkovickeslevarny.cz/uploads/File/material-grade-V75Mo.pdf>
- [18] TRIBOLÓGIA: Deformačné štruktúry a opotrebenie nástroja pri vysokorýchlostnom obrábání. *TRIBOLÓGIA* [online]. © 2008 - 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/deformacne-struktury-a-opotrebenie-nastroja-pri-vysokorychlostnom-obrabani.html>

- [19] BITTNER, Jan. *METODY POVLAKOVÁNÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ*. Brno, 2010.
Dostupné z:
https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/18388/2010_BP_Bittner_107107_OPUS.pdf?sequence=1. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [20] Vnútropodnikové materiály firmy Strojírny Třinec, a.s. [cit. 2012-05-12]
- [21] ZACHA - *Více o výrobě trubek* [online]. © 2009 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z:
<http://www.zacha.cz/vice-o-vyrobe-trubek>
- [22] *General catalog: SAFETY* [online]. 2007 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z:
[http://www.safety-](http://www.safety-cuttingtools.com/internet/2070/S008202.nsf/LookPortal/PortalBE17B5CA05E69D1DC1257895004A25A2/$file/GeneralCatalogue_2011_eng_ld.pdf)
[cuttingtools.com/internet/2070/S008202.nsf/LookPortal/PortalBE17B5CA05E69](http://www.safety-cuttingtools.com/internet/2070/S008202.nsf/LookPortal/PortalBE17B5CA05E69D1DC1257895004A25A2/$file/GeneralCatalogue_2011_eng_ld.pdf)
[D1DC1257895004A25A2/\\$file/GeneralCatalogue_2011_eng_ld.pdf](http://www.safety-cuttingtools.com/internet/2070/S008202.nsf/LookPortal/PortalBE17B5CA05E69D1DC1257895004A25A2/$file/GeneralCatalogue_2011_eng_ld.pdf)

12 Zoznam príloh

Príloha A – Príklad 10" výrobného výkresu pútnického valca

Príloha B – Záznam z frézovania pútnického valca

Príloha C – Záznam o teste, Strojírny - VTTŽ Ostrava